

BIBL. NAZIONALE
CENTRALE-FIRENZE

605

5

11 605

5

LEZIONI SUI PONTI AD ARCHI DI LEGNAME

PROGETTO DI UN PONTE-CANALE

DISSERTAZIONE

PRESENTATA ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della

RE SCUOLA DI APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI IN TORINO

da

SILVIO AVONDO

da Rimentino Novara

ALUNNO DEL COLLEGIO CACCIA

PER OTTENERE IL DIPLOMA DI LAUREA

di

INGEGNERE CIVILE



avondo

TORINO 1873.

Collegio degli Artigianelli — Tip. e Lib. S. Giuseppe.

Corso Palestro, numero 14.



CENNI SUI PONTI AD ARCHI DI LEGNAME

PROGETTO DI UN PONTE-CANALE

DISSERTAZIONE

PRESENTATA ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della

R. SCUOLA DI APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI IN TORINO

da

SILVIO AVONDO

da Romentino (Novara)

ALUNNO DEL COLLEGIO CACCIA

PER OTTENERE IL DIPLOMA DI LAUREA

di

INGEGNERE CIVILE



TORINO 1873.

Collegio degli Artigianelli — Tipografia e Libreria S. Giuseppe.
Corso Palestro, numero 14.

A' MIEI CARISSIMI GENITORI
IN SEGNO
DI RICONOSCENZA E D'AFFETTO
QUESTO MIO TENUE LAVORO
DEDICO

PARTE PRIMA

CENNI SUI PONTI AD ARCHI

IN LEGNAME

1. È comune da noi l'uso di considerare le costruzioni in legno come adatte solo ad opere provvisorie e di esistenza del tutto precaria; e di giudicare in tal modo siamo indotti da valide ragioni. Imperocchè il legname per venire impiegato nelle costruzioni, nonostante la sua durata relativamente breve per rispetto al ferro ed alla muratura, deve essere in abbondanza ed a prezzo. Ora si sa quanto noi siamo lungi da questo *ideale*; ma quando ci sarà dato rivedere i nostri monti rivestiti di boschi (il che ormai è riconosciuto indispensabile per riparare i danni delle inondazioni) le costruzioni in legno prenderanno rapido incremento; ed intendo in ispecial modo parlare qui dei ponti, poichè oltre richiedere minor spesa d'impianto presentano ancora sui ponti in muratura altri vantaggi da non trascurarsi, come sono ad esempio la facile difesa militare, l'economia nelle fondazioni, la rapidità obbligatoria di costruzione ed il vantaggio di evitare le volte oblique.

Quando poi i sostegni del ponte sian fatti in muratura (a) ed il ponte medesimo costruito coi riguardi che l'arte e l'esperienza suggeriscono, esso presenta una buona durata. — Nè alle costruzioni di semplici ponti è limitato l'impiego del legno, perchè negli Stati-Uniti d'America si costruirono persino viadotti per ferrovia aventi dimensioni ragguardevoli. — Onde preservare il legname di cui è costruito un ponte dalle alternative di umido e secco è uso generale in America di coprire il ponte stesso nella sua parte superiore con un tetto, e lateralmente con tavole. Il tetto però sta bene là dove l'intelaiatura molto si eleva sul tavolato; negli altri casi giova, onde evitare una spesa ragguardevole e non caricare di soverchio il ponte, porre una sottile lastra di metallo sotto la coperta. L'ingegnere Mary, professore alla scuola d'Arti e Mestieri di Parigi, ci accerta che in un ponte stato costruito sulla Senna con tale precauzione si trovò, quando si demolì, tutto il legname in buonissimo stato. Ed in un ponte sull'Elba, lungo la ferrovia Berlino-Coetheu, i fianchi sono tutti coperti da tavolati pel medesimo scopo di preservarlo dall'umidità (b).

2. I ponti in legno si possono classificare in tre distinte categorie: 1. Ad incavallature rette, 2. a tavole rettilinee, 3. ad archi; ciascuna delle quali presenta più varietà che lungo sarebbe l'enumerare. — Non entra nel compito che mi sono proposto l'esporre le cause che inducono a scegliere un tipo piuttosto che l'altro, come sarebbero l'importanza della comunicazione stabilita sul

(a) Le palate o stilate non reggono a lungo contro gli urti delle acque grosse, dei galleggianti e dei massi che trascinano seco: presto poi infradiscono al livello delle acque ordinarie per l'alternativa di umido e secco.

(b) *Annales des ponts et chaussées*, 2 Série, tom. X.

ponte, l'altezza sua sulle acque sottostanti, le esigenze della navigazione, le dimensioni dei legni di cui si può disporre, ecc., ecc.; io voglio solo dare un rapido cenno sui ponti ad archi di legname. Essi si possono suddividere, avuto riguardo alla relativa posizione degli archi per rispetto all'impalcatura del ponte, in tre altri tipi, e sono: 1° Ponti in cui gli archi sono tutti al disopra del pavimento cosicchè questo ne rimane sospeso. 2° Ponti in cui gli archi sono in parte sopra ed in parte sotto, sicchè il pavimento è in parte sospeso ed in parte sopportato. 3° Ponti nei quali gli archi sono tutti al disotto ed il pavimento è quindi tutto sopportato.

Dirò prima in generale, poi di ciascuno in particolare.

3. È opinione dell'Ing. Mary che i ponti ad archi di legname furono impiegati per la prima volta, onde superare grandi portate a Chassey (Dipartimento dell'Ain) verso il principio di questo secolo (c); sebbene inverò grandi portate fossero già state superate coi ponti tedeschi; a mo' d'esempio il ponte di Wettingen (Svizzera) sul fiume Limmat ha una corda di 118^m90 (c').

Gli archi possono essere formati di travi artificialmente incurvate, sovrapposte nel senso della loro larghezza, e tenute a sito da chiavarde e da fasciature in ferro; bisogna però aver cura di non far cadere nel medesimo luogo le unioni di punta delle travi costituenti due corsi contigui. — Possono ancora essere costruiti col sistema del colonnello Emy, e consiste nel sovrapporre tante tavole sottili e flessibili nel senso della loro larghezza sopra una sagoma avente la curvatura dell'intradosso dell'arco che si desidera, e nell'unirle fra loro fortemente con chiavarde e fasciature. — Questo secondo metodo

(c) MARY. *Cours de routes et ponts*. — Vedasi la nota a pag. 19.

(c') CAVALIERI. *Istituzioni d'architettura*.

però moltiplicando le superficie di contatto di legno contro legno dà a temere che nei luoghi esposti alle vicende atmosferiche si sviluppi presto l'infracidamento; d'altra parte risultando gli archi molto flessibili facilmente si pongono ad oscillare in causa del vento e del transito dei veicoli. E queste oscillazioni nei ponti in legno sono a temersi più che mai, perchè ne alterano prontamente le unioni e li rendono in poco tempo inservibili.

Per questi motivi, se le centine Emy furono accolte con favore negli edifizii coperti e dove il carico è sempre uguale, si bandirono quasi completamente dalla costruzione dei ponti. Tuttavia quando mancasse il legname grosso, quando le centine dovessero servire per un ponte coperto, si potrebbe ancora adottare il precedente sistema purchè si avesse cura di eliminare se non in totalità almeno in gran parte il secondo inconveniente sopracennato; e ciò si ottiene applicando alle centine un'armatura in ferro proposta dal Sig. Polonceau (d). Suppongasì si voglia fare quest'operazione ad una centina doppia rappresentata nelle figure E ed F della tavola. Fa d'uopo però che per intromessa io prima avverta che talvolta, riuscendo una centina sola di troppo grandi dimensioni, si usa porne invece due o tre di più modeste proporzioni l'una a lato dell'altra e serrarle poi fortemente insieme; così si hanno le centine doppie e triple. Ciò posto, torniamo all'argomento.

Si colloca fra le due centine un'armatura di ferro piatto, fatta a zic-zac, e co' suoi angoli alquanto sporgenti sull'intradosso e sull'estradosso degli archi, cosicchè si possa coll'introduzione di cunei semiconici fra il legno e l'armatura tendere l'armatura stessa e farne una serie di triangoli rigidi; per impedire la penetrazione dei cunei

(d) *Annales des ponts et chaussées*, 2^{me} Série, tom. VII.

nelle centine giova porre sotto di essi delle larghe liste di ferro. È necessario poi il chiudere le centine l'una contro l'altra con apposite staffe, ed è chiaro che il sistema sarà più solido quando l'armatura essendo incastrata metà per parte nelle centine, queste si possono, serrando le staffe, far combaciare perfettamente. — Quando poi l'arco constasse d'una sola centina si può renderlo rigido ponendo un'armatura su ciascuna faccia, ed allora fa d'uopo munire i cunei di una testa e di una chiodicciola acciocchè compiano ancora l'ufficio di fissare le armature sulle centine.

Se gli archi debbono presentare maggior resistenza si aumenterà il numero e le dimensioni delle armature: così per esempio nel caso descritto della centina doppia oltre a quella di mezzo se ne potrà mettere due altre sulle facce, ed un sol cuneo le abbraccerà tutte e tre.

A questi cunei si può, come mostrano la fig. E ed F, appendere le aste di sospensione quando le centine debbono servire per un ponte ad impalcatura sospesa.

Ho accennato più sopra ai gravi danni che possono arrecare le vibrazioni nei ponti in legno: ora nel medesimo intento di impedirle è bene che i sostegni delle arcate siano prolungati fin sotto l'impalcatura, e che le travi longitudinali vi siano incastrate e tenute salde da staffe e tiranti in ferro che penetrino di molto nella muratura; così si rende una arcata affatto indipendente dalle contigue.

Piacemi qui ricordare che non molti anni fa si costrusse a Choisy (Francia) un ponte ad arcate di legname, in cui le pile che erano di muratura si fermavano all'imposta degli archi, i quali erano collegati con apposite travi: si capisce facilmente come in un tal ponte le vibrazioni di un'arcata si trasmettessero facilmente alle successive. Or avvenne che presto si manifestarono tali avarie

che si dovette nell'interesse pubblico proibirne il transito; e l'ingegnere incaricato della riparazione fece innalzare le pile fino al tavolato.

Gli archi sono alcune volte alle loro imposte incastrati nelle pile, altre volte entrano in apposite scatole di ghisa fortemente fissate all' muratura, altre volte appoggiano semplicemente su lastre di ghisa o tavole di legno, e ben di sovente ancora penetrano in aperture lasciate a bello studio fra pietra e pietra in modo che lateralmente rimanga un giuoco per lasciar circolare liberamente l'aria, e nella parte più bassa havvi un cuscinetto di ghisa che porta dei fori per il libero scola delle acque qualora vi penetrassero.

Le imposte degli archi vogliono essere poste ad un'altezza tale da non esser bagnate neanche nelle massime piene, perchè altrimenti si guasterebbero presto, e d'altra parte le arcate in legno non avrebbero la forza, come quelle in muratura, di resistere all' impeto delle acque ed agli urti dei corpi galleggianti.

Nella costruzione dei ponti ad archi si deve aver cura di non far sentire alle pile delle spinte orizzontali, e ciò si otterrà o ponendo almeno nella campata successiva a quella in cui si fa l' arcata ed al livello dell' imposta delle travi orizzontali, oppure facendo progredire contemporaneamente il lavoro su più arcate.

Il legno dopo esser stato posto in opera prova un essiccamento e quindi un restringimento che ne altera le connessioni: si ripara a ciò in due modi: l'uno, che chiameremo diretto, consiste nell'incatramare le facce visibili del legno e diminuire così per quanto si può l'essiccamento di cui sopra; l'altro, indiretto, consiste nel fare le unioni in modo da poterle chiudere tuttavoltachè per la suddetta causa venissero a rallentarsi.

4. Non bisogna dimenticare che nei ponti in legname

occorrono frequenti riparazioni e sovente surrogare qualche pezzo che minaccia infracidamento.

Laonde condizione indispensabile di un ponte modello sarà quella di poterlo rifare in ogni sua parte senza demolire il ponte intero: ed a questo riguardo gli Ingegneri americani raggiunsero in certe loro opere la perfezione.

Avuto riguardo adunque all'accennata condizione non è bene che i ponti ad archi abbiano troppo grandi portate, e non è conveniente l'impiego delle centine Emy, poichè non si può sostituire una tavola senza rifare l'arco intero (e).

I costruttori opinano che nei casi ordinarii non si debbano adottare corde maggiori di 40 metri, nè saette minori di $\frac{1}{12}$ (f). Tuttavia i ponti in legname, prestandosi più di quelli in muratura a superare grandi portate con monta relativamente piccola, vennero impiegati là dove il livello del suolo stradale era di poco elevato sul corso d'acqua, e nello stesso tempo sarebbe stato dispendioso e mal sicuro lo stabilire delle pile.

Al principio di questo secolo l'Ingegnere Wiebeking fece costruire in Baviera molti ponti ad archi di legname di portate rilevantissime; fra gli altri v'ha quello di Bamberg sul Regnitz che ha una corda di 71^m80 ed una monta di 5^m14; ed il medesimo ingegnere ne progettò poi uno sul Munich di 83 m. di corda e 5,84 di monta.

Ma l'arditezza di questo costruttore si fa ancor più palese nel ponte di Irsingen sopra il Wertaeh, dove con una corda di 37^m95 assegnò una monta di soli 2^m.12, cioè il rapporto di questa a quella è nientemeno di 17,91.

(e) SGANZIN. *Cours des constructions*.

(f) CURIONI. *Arte del Fabbicare — Costruzioni civili, stradali, idrauliche*.

È molto dubbio però che ponti cosiffatti possano durare lungo tempo: invero l'osservazione ha messo in sicuro che per la lenta essicazione del legno le centine si restringono e sono causa di un abbassamento nella metà del ponte in modo da minacciare rovina (g): or questo pericolo evidentemente sarà maggiore pei ponti di saetta più piccola.

Nei casi ordinari la distanza fra asse ed asse di due centine consecutive è compresa fra 1^m.50 e 2.50. Il limite superiore fu però assai di frequente superato nei ponti a grandi portate: e per esempio nel ponte di Bamberg gli arconi, che sono in numero di 3, distano l'un dall'altro più di 4 metri, ma in contraccambio quelli di fianco sono doppi e quello di mezzo è rinforzato da tavoloni curvi posti sulle due facce così da farne un arcone triplo; tutti poi hanno nel senso del raggio uno spessore maggior di 2 metri. Qui si cade però nel difetto delle centine Emy, cioè di moltiplicar di troppo le superficie di contatto di legno con legno. Per ponti di così vaste portate occorrono poi travi di sì grandi dimensioni che difficilmente si trovano là dove mancano le ampie foreste. Ed infine giova accennare ad un altro inconveniente proprio di questi grandi ponti: la pressione cui vanno soggette le centine è talmente forte da far penetrare le fibre di un pezzo fra quelle dell'altro, e però si deve in questi casi isolare i singoli pezzi col mezzo di lastre metalliche. (Si veda più innanzi la descrizione del ponte Colossus a Paladelfia).

5. — **Ponti ad impalcatura sospesa.**

In questi ponti si ha il vantaggio di poter collocare il tavolato più in basso che negli altri, e di poter superare

(g) CURIONI, *Op. cit.*

grandi distanze senza appoggi intermedi: furono molto usati in Svizzera e perciò si distinguono anche coll'appellativo di *ponti svizzeri*. Essi però hanno l'inconveniente, di cui si è già fatto menzione, di vibrare molto facilmente, per cui tendono ancora a strapparsi dai loro appoggi; e quando altre circostanze richiedessero imperiosamente il loro impiego, gioverà rendere, per quanto si può, gli archi rigidi applicando loro l'armatura suggerita da Polonceau. Tuttavia anche con quest'ultimo miglioramento tali ponti non saranno adatti al passaggio d'una ferrovia, che anzi lo stesso Polonceau li vorrebbe eseguiti solo pei pedoni. A me sembra che si potrebbero utilmente usare come ponti-canali, quando per essere il canale di poca entità bastassero le due centine frontali: qui sarebbero eliminate le vibrazioni causate dal passaggio dei veicoli. Quando poi il canale fosse di maggiori dimensioni, così da richiedere tre o più centine, bisognerebbe dividerlo in due o più bracci, il che dubito si possa conciliare coll'economia.

In America a Trenton e sopra il Delaware troviamo un bel ponte di questo genere avente cinque campate di 60 metri caduna (h). Nella fig. A della tavola è segnato il prospetto di mezza arcata, nella fig. B la sezione trasversale fatta al culmine degli archi; i quali sono in numero di cinque per ogni arcata e lasciano fra di loro quattro passaggi. I due intermedi larghi 2,95 sono destinati alle vetture, e i due laterali di 1,45 ai pedoni. Le centine hanno 8,50 di monta e sopportano il tavolato mediante tiranti in ferro. La centina di mezzo siccome quella che deve sopportare maggior peso è di spessore alquanto maggiore delle altre; tutte nel senso del raggio sono alte 0^m,80.

(h) CHEVALIER. *Vois et communications aux Etats-Unis.*

Da un'arcata all'altra sonvi delle travi orizzontali che si appoggiano sugli archi ad altezza maggiore di 5^m, cosicchè il tetto esistente su di esse non impedisce per nulla il transito delle vetture. All'incontro delle centine il tetto, che prima era a due falde, (fig. C) divien cilindrico col medesimo asse dell'arcata. Quelli che qui si potrebbero chiamare gli arcarecci servono allo scopo importantissimo di rilegare fra loro le centine e far dell'arcata un tutt'insieme solido. In questo ponte per attenuare le tanto giustamente paventate vibrazioni si sono messi dei gambi di forza, che appoggiandosi sulle pile esternamente alle arcate vanno a puntellare l'arco di fronte e quello che immediatamente lo segue; nè di ciò si stette pago il costruttore, chè volle ancora chiudere gli archi frontali verso la loro imposta fra due ordini di robusti tavoloni incurvati che vanno ad incontrarsi nella muratura. Il tavolato, che abbiamo detto essere sospeso con tiranti in ferro, è ancora collegato con ciascun arco per mezzo di travi inclinate press'a poco di 45° all'orizzonte: esse sono in numero di otto, simmetricamente disposte, metà da una parte e metà dall'altra della mezzaria dell'arco, ed hanno tal direzione che prolungate s'incontrerebbero al disotto del tavolato.

6. — Ponti con archi penetranti nell'impalcatura.

Nella figura D della tavola si vede in prospetto mezz'arcata d'un ponte di tal genere progettato dall'Ingegnere Polonceau. Ciascun arco è per metà al disopra dell'impalcatura, ed è diviso da essa in tre parti, che si possono considerare, per ciò che riguarda le vibrazioni, come indipendenti l'una dall'altra. Invero le due parti presso le imposte, che hanno solamente per lunghezza un quarto dell'arco intero, sono da un lato incastrate nella mura-

tura, dall'altro nel tavolato: la parte di mezzo poi è resa molto più resistente per l'inchiodamento eseguito là dove le travi longitudinali del ponte incontrano la centina che comprendono fra di loro, ed è come aver dato alla parte superiore dell'arco una corda inestensibile. Vantaggio di questo sistema è di non richiedere molti pezzi di collegamento, come i ponti Svizzeri esaminati nel N° precedente, perchè nella parte superiore ne compie, e molto bene, l'ufficio il tavolato, che l'Ing. Polonceau stima essere il più forte collegamento desiderabile.

Gli archi essendo generalmente in numero maggiore di due, divideranno il ponte nel senso della sua larghezza in più scompartimenti, e ciò senza nuocere al libero passaggio; giacchè alcuni saran riservati ai pedoni, altri ai veicoli; e di questi ultimi scomparti, che in generale non saranno più di due, uno sarà destinato al transito in un senso, l'altro in senso opposto. — Gli archi nella parte superiore al tavolato vogliono esser posti al riparo degli urti che possono lor cagionare i veicoli.

Fra i diversi ponti fissi ad archi, quello ora descritto lascia sotto di sé maggior sfogo alle acque col minimo innalzamento dell'impalcatura.

Il Sig. Polonceau esaminando le obbiezioni fatte al suo sistema (poichè fu egli che lo propose nel 1828) solo trovò giusta quella che si riferisce al poco gradevole aspetto che presenta siffatto genere di ponti: e però egli stesso consiglia di non innalzare gli archi al disopra del parapetto. Quanto poi agli archi intermedi parmi si potrebbero mascherare con balaustre lunghesso il ponte; ma ove dovesse servire per via ferrata non ne sarebbe più il caso. Del resto Polonceau è di parere si possa transigere sull'eleganza quando sono pienamente soddisfatte le tre condizioni di *resistenza o stabilità ed economia*; che

queste condizioni sieno adempiute lo crede pure l'ing. Mary (1).

Riguardo poi a far servire tal genere di ponti per condurre delle acque, quando queste fossero in grande quantità, si cade nell'inconveniente accennato più sopra pei ponti-canali sospesi.

7. — **Ponti con archi posti sotto l'impalcatura.**

Si possono adoperare questi ponti là dove la differenza d'altezza fra il suolo stradale ed il livello delle acque massime è grande.

Nella fig. 1 e 2 della tavola si vede il prospetto, e la pianta ed una sezione di un ponte con archi posti sotto il tavolato, e poichè sarà il tipo che sceglierò pel mio ponte-canale (siccome quello che, per quanto sia grande il volume d'acqua da condurre, non presenta l'inconveniente summentovato), ne darò anche lo studio de' suoi principali particolari.

Le centine constano di quattro travi sovrapposte e serrate insieme col mezzo di staffe in ferro munite di viti (fig. 7) in modo da poterle chiudere sempre quando se ne presenti il bisogno. — I sostegni del ponte sono in muratura, salvo la parte corrispondente all'imposta degli archi che è in pietra da taglio, perchè quivi si ha bisogno di maggior resistenza. — La fig. 4 fa vedere, con una sezione fatta nel senso longitudinale del ponte, il modo con cui un arcò si imposta: esso si appoggia semplicemente per una sezione retta sopra la pila dopo esservi penetrato alquanto, e nella parte inferiore giace sopra un cuscinetto di ghisa la cui forma e dimensioni chiaramente appariscono dal complesso della fig. 4: esso soddisfa alle condizioni di cui fu parola al n°. 3. — Da-

(1) MARY. *Op. cit.*

gli arconi partono dei doppi ritti verticali *RR* (fig. 1 e 2) che vanno a sorreggere le travi longitudinali *LL*, su cui appoggiano le trasversali *TT*, sulle quali ultime si colloca l'impalcatura del ponte. — Nella fig. 3 si vedono i particolari di alcune connessioni: i ritti *RR* abbracciano la centina *D*, e però corrispondentemente ad essa sono intagliati di alcuni centimetri: sono muniti poi di chiavarde onde stringere la centina fra di loro; sopra e sotto la centina i ritti sono tagliati, come mostrano le figure, un po' in isbieco, ed ai due lati vi si adatta una coppia *CC CC'* di pezzi di collegamento rappresentati a parte nella fig. 5. Ora quelle facce in isbieco prolungate da ambe le parti un poco verso l'asse della centina permettono, chiudendo le chiavarde dei pezzi di collegamento, di comprimere sempre fortemente questi pezzi contro la centina e così mantenere l'unione perfetta nonostante l'essicazione del legno. — I ritti *RR* si prolungano in su fino ad abbracciare le travi longitudinali e vi restano assicurati con un'altra chiavarda. L'unione di due pezzi consecutivi costituenti le travi longitudinali si vede rappresentata nella fig. 6.

Ai pezzi di collegamento *CC CC'*, che andando da una centina all'altra tendono a mantenerle fisse, si aggiunse nello stesso scopo i pezzi in croce *ll, ll'* (fig. 2 e 10), che hanno le loro superficie inferiori quasi confondentisi colla superficie d'intradosso dell'arcata: essi si appoggiano in parte contro le centine ed in parte contro i ritti: si tagliano a metà legno e si possono inchiodare per maggior stabilità sulla coppia dei pezzi di collegamento *CC* su di cui passano.

Dove poi i ritti hanno una lunghezza un po' ragguardevole si pongono altri pezzi di rinforzo in croce, come si desume dalle fig. 1 2 e 10.

In molti ponti esistenti i pezzi che trasmettono il ca-

rico agli arconi sono diretti secondo i raggi: Sganzin preferisce siano, come si è adottato qui sopra, verticali. — Nel ponte di Freising sull'Iser, costruito dall'Ing. Wiebeking nell'anno 1808 e bruciato nell'anno successivo, si era fatto uso a questo riguardo, di un metodo del tutto speciale; e consisteva nel porre a determinate distanze fra le centine ed il tavolato delle travi sovrapposte le une alle altre e dirette secondo la larghezza del ponte.

8. A Filadelfia (Stati-Uniti d'America) e sopra lo Schuylkill si trova un ponte, chiamato a causa delle sue grandi dimensioni (103^m di corda) il Colossus (1), che non si saprebbe classificare in uno dei tre tipi descritti; e quindi lo credei meritevole di speciale menzione. Ciascuna fronte consta, come si vede nel prospetto di mezz'arcata rappresentato nella fig. G, di un arco *aa*, sul quale si costrui una specie di volta, dove i singoli quadrilateri come *pyda* ne starebbero a rappresentare i conci. — Numerosi tiranti in ferro fanno rigido il sistema: altri lo rendono solidario colle spalle; alle quali si dovrebbe assegnare grande spessore a causa della ragguardevolissima spinta esercitatavi contro dal ponte. — Ed è a motivo della grande pressione a cui devono essere soggetti i singoli pezzi, che si volle adoperare il cuore solo del legno ed ancora scegliendo i pezzi che non presentavano il minimo difetto; inoltre nelle unioni si ebbe cura di dividere tutti i pezzi con lastre metalliche onde evitare la compenetrazione delle fibre. — In questo ponte si può sostituire quando occorra qualunque pezzo senza portar nocumento alla stabilità della costruzione; e si abolì, nella parte inferiore almeno, le unioni a tenone e mortisa, siccome quelle che, penetrate dall'acqua, facilitano lo sviluppo dell'infracidamento.

(1) CHEVALIER, *Op. cit.*

A New-hope sopra il Delaware esiste un ponte che si può paragonare alla parte centrale del ponte Polonceau. Infatti esso consta di grandi archi che vanno ad impostarsi entro scatole di ghisa fissate alle estremità delle travi longitudinali del ponte, cosicchè queste funzionano da *catena*. Sulle travi longitudinali si ergono dei ritti verticali che sostengono altre travi orizzontali, tangenti alla sommità degli archi; e sopra v'hanno dei collegamenti trasversali. Dei tiranti in ferro inclinati all'orizzonte rinforzano le pareti verticali. Le spinte sulle spalle sono in questo ponte annullate.

Nota. — I ponti con archi di legname, limitati però a brevi portate, erano già conosciuti dagli antichi Romani; Cesare Cantù, nella sua storia universale, accenna ad un ponte in legno costruito sul Danubio ai tempi di Traiano. Dal disegno che di tal opera si scorge sulla colonna Traiana, sembra che ciascuna centina dovesse constare di tre travi incurvate, tenute a determinate distanze da altre travi poste nel senso trasversale al ponte; tale intelaiatura doveva presentare molta solidità: pregio questo, che non mancò mai alle opere romane, e che in certo qual modo ci è specchio dell'indole fiera di quel popolo.



PARTE SECONDA

PROGETTO DI UN PONTE-CANALE

AD ARCADE DI LEGNO

TEMA.

« Ponte-canale sostenuto da arcate di legno, sopra un torrente della larghezza di 125 metri. La portata del canale è di 30 metri cubi per ogni minuto secondo, ed il suo fondo, elevato di 10 metri su quello del torrente, ha la pendenza del 0,25 per 1000. Il ponte canale di cui domandi il progetto ed il costo, deve avere le sue fondazioni fino alla profondità di 10 metri sotto le acque massime del torrente, le quali si elevano a quattro metri sul suo fondo. »

SCELTA DEL TIPO.

Le acque massime del torrente, essendo molto al di sotto del fondo del canale, posso adottare il tipo descritto al numero 7 della parte prima; quindi non mi rimane che a descrivere ciò che riguarda il canale. Sopra le travi trasversali e quindi nel senso longitudinale del ponte,

vi sono dei tavoloni che si possono vedere in *rrr....* nella fig. 8; sopra i tavoloni in senso a lor normale è collocato un corso di tavole $\tau_1, \tau_2, \dots$; ed in questo modo, quando si abbia ancor cura di otturare le fessure con stoppa cacciata a forza col scalpello e di incatramare bene il tutto, si ottiene un fondo impermeabile all'acqua, condizione questa importantissima per la buona conservazione del ponte. Lo stesso metodo si può adottare per la sponda, la quale è contenuta da ritti *rr* fig. 1 e 8, incastrati nelle travi trasversali. Quest'ultime sporgono all'infuori onde dar appoggio a dei puntelli *O'P'OP* (fig. 8) che vanno ai ritti, i quali non sarebbero capaci da soli di sorreggere la sponda quando nel canale vi fosse acqua.

I ritti *r* superiormente sono collegati con una filagna *FF'* dalla quale ogni quattro ritti parte un tirante in ferro che collega le due sponde: un manicotto a chiocciole contrarie, in cui entrano le estremità filettate delle aste *a'a*, serve a produrre la voluta tensione.

CALCOLO DEL PONTE-CANALE.

1. — **Determinazione delle sezioni trasversali del canale.**

Allorquando occorre di far passare un canale sopra un ponte bisogna regolarne le sezioni in modo da non dare origine a rigurgiti; a questo si arriva facilmente imponendosi che l'altezza dell'acqua sul ponte sia la medesima che nel canale in terra, onde la necessità di procurarsi gli elementi della sezione trasversale di quest'ultimo.

A/ Suppongo il terreno di natura sabbioso; allora l'acqua può avere sul fondo la velocità di 0^m,30 senza produrre alcuna corrosione.

Ora si sa che chiamando:

W la velocità presso il fondo; v la velocità media;
 V la velocità superficiale, si ha:

$$W = 2v - V \quad (1)$$

Ma d'altra parte Prony dà fra la velocità media e la superficiale la relazione:

$$v = V \frac{V + 2,37187}{V + 3,15312} \quad (2)$$

ed eliminando fra queste due equazioni la velocità superficiale ottengo:

$$v^2 + \frac{1}{2}v \left\{ 1,59062 - 3W \right\} = W \left\{ 2,37187 - W \right\} \quad (3)$$

la quale dà la velocità media nel canale a monte del ponte quando si sostituisca per W il valore sopra detto; e si trova:

$$v = 0,807$$

Ricordo ora le formole di Darcy e Bazin riguardanti il moto uniforme dell'acqua nei canali scoperti, esse sono:

$$\frac{\Omega}{X} I = \alpha \left(1 + \beta \frac{X}{\Omega} \right) v^2 \quad (4)$$

$$Q = \Omega v$$

dove significano:

Ω la superficie in m. q. di quella parte di sezione retta del canale in cui scorre l'acqua; X il perimetro bagnato espresso in m.; I la pendenza del fondo; v la velocità media espressa in metri; Q la portata in m. c. per ogni 1"; α e β due coefficienti numerici dipendenti dalla natura delle pareti e del fondo del canale.

Ed ove si dica:

L la lunghezza del fondo del canale; h l'altezza dell'acqua; γ l'angolo d'inclinazione delle sponde coll'orizzonte, si avrà:

$$\left. \begin{aligned} \Omega &= (L + h \cot \gamma) h \\ x &= L + 2 \frac{h}{\operatorname{sen} \gamma} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

e sostituendo questi valori nelle (4) si ottiene:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(L + h \cot \gamma) h}{L + 2 \frac{h}{\operatorname{sen} \gamma}} I &= \alpha \left(1 + \beta \frac{L + 2 \frac{h}{\operatorname{sen} \gamma}}{(L + h \cot \gamma) h} \right) v^2 \\ Q &= (L + h \cot \gamma) h v \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

In queste equazioni conosciamo: Q eguale a 30^{mc} ; v velocità media trovata di $0^{\text{m}},807$; α e β coefficienti numerici che per le pareti in terra valgono rispettivamente $0,00028$ e $1,25$; γ che supporrò di 45° , cosicchè $\cot \gamma = 1$ e $\operatorname{sen} \gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$. Rimangono incognite L , h ed I di cui potrò trovare il valore assumendo una terza relazione; e questa sarà il rapporto fra la larghezza e l'altezza dell'acqua. Pei canali di mediocri dimensioni si ritiene che L debba essere da 3 a 6 volte h , ma per canali un po' ragguardevoli questa regola darebbe altezze d'acqua troppo grandi. Io assumo pel mio canale:

$$L = 10 h$$

ed eliminando L fra quest'ultima e la seconda delle (6) si ricava:

$$h = 1^{\text{m}}, 84$$

quindi

$$L = 18^{\text{m}}, 40$$

Dalla prima si può poi ricavare il valore della pendenza I e si trova:

$$I = 0^{\text{m}}, 00020.$$

B) Ora che ho l'altezza dell'acqua nel canale ricerco la larghezza che deve avere sul ponte. Ritenendo le me-

desime denominazioni più sopra adottate, sussisteranno ancora le (4).

Qui la sezione retta è un rettangolo, e però dando un accento ad L per indicare la nuova larghezza del canale, avrò:

$$\left. \begin{aligned} \Omega &= L' h \\ x &= L' + 2 h \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

e sostituendo questi valori di Ω e di x nelle (4):

$$\left. \begin{aligned} \frac{L' h I}{L' + 2 h} &= \alpha \left(1 + \beta \frac{L' + 2 h}{L' h} \right) v^2 \\ Q &= L' h v \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ed eliminando fra queste due ultime equazioni la velocità media v

$$L'^3 h^3 I = \alpha (L' + 2 h) \{ L' h + \beta (L' + 2 h) \} Q^2 \quad (9)$$

dove la sola incognita è L' ; e mettendo per h 1^m, 84; per Q 30^{mc}; per I la data pendenza di 0,00025; e per α e β i valori relativi al legno che sono rispettivamente 0,00019 e 0,07, si ricava:

$$L' = 12^m, 24$$

se si vuol poi conoscere la velocità media sul ponte-canale si ricorre alla 2^a delle (8).

2. — Determinazione del numero delle arcate e della loro ampiezza.

Avuto riguardo a quanto fu accennato nel numero (4) della prima parte di questo scritto, essendo di 125^m la larghezza del torrente si potrà fare il ponte a 5 arcate, le quali riusciranno d'una portata poco minore di 25^m.

Quanto alla determinazione della loro precisa ampiezza

non è nel caso mio cosa si presto fatta come quando si conosce la luce libera che deve lasciare il ponte sotto di sè pel completo efflusso delle acque. Qui essendo data la lunghezza totale del ponte bisognerà fissare ad *arbitrio* l'ampiezza provvisoria delle centine, fare un calcolo provvisorio onde avere all'incirca il volume e quindi il peso di un'arcata intiera; aggiungervi il peso dell'acqua; tener conto anche del peso proprio della pila e determinare così lo spessore della pila medesima. Tutto questo io ho fatto, ma non starò qui a ripeterlo dovendo poi riferire le stesse cose nel calcolo definitivo; e basterà il ricordare che supponendo la pila costrutta con materiali laterizii e calce idraulica (onde si prese per coefficiente di cottura $R'' = 500\,000$) mi risultò di uno spessore poco superiore ad 1^m,70.

Si è supposto naturalmente che le spinte orizzontali di due arcate successive si elidessero completamente e la pila non servisse che da sostegno. Questa dimensione bisogna però aumentare d'alquanto, perchè quando occorre riparare alcune centine di un'arcata si fan sentire sulle file adiacenti le spinte orizzontali delle arcate contigue; è bensì vero che in allora non v'è più acqua nel canale, e che quindi la spinta è diminuita di molto; ma vi sono le diverse macchine che servono alla riparazione di peso non trascurabile, e che secondo Sganzin (a) sorpassa ben di frequente il carico di una via ordinaria; e poi parmi non voglia essere trascurato il peso degli operai, che si ritroveranno in gran numero sul ponte, poichè in questo genere di lavori si richiede molta speditezza. — Arroggi che dovendo secondo le buone regole far entrare di 50 o 60 centimetri gli arconi nelle file, essi verrebbero a toccarsi colle loro estremità quando si ritenesse la di-

(a) SGANZIN, *Op. cit.*

menzione suaccennata. Per questi motivi adunque assumo le pile di metri 2 di spessore.

Mi riservo di dare in seguito la verifica della stabilità.

Le pile essendo in N° di 4, la luce libera del ponte risulterà di

$$125^m - 4 \times 2^m = 117^m$$

e quella di ciascuna arcata

$$\frac{117}{5} = 23^m, 40$$

Da asse ad asse delle pile..... 25^m,40.

Per corda dell' asse delle centine prenderò m. 24,60 facendo penetrare gli arconi di 0^m,60 per parte nelle pile.

Per saetta prendo $\frac{1}{10}$ della corda, cioè 2^m,46 che, secondo quanto fu detto più sopra (parte 1^a N° 4), sta nei limiti fissati dai costruttori.

3. — **Determinazione del numero delle centine per ciascuna arcata.**

Le centine possono essere situate alla distanza l'una dall'altra di 1^m,50 fino a 2^m,50. — Nel mio caso ponendo gli assi degli arconi estremi corrispondentemente sotto la superficie interna della sponda avrò per la loro distanza 12^m,24, la larghezza del canale. In questo spazio posso collocare sei altri arconi, restando così da asse ad asse 1^m,75. Il peso piuttosto ragguardevole che si ha sul ponte (1840 Kg. d'acqua ogni m. q.) non permette di porre gli arconi a maggior distanza: esso però non è poi tale da richiederli più vicini, il che aumenterebbe col numero delle centine anche la spesa.

4. — Determinazione di alcuni elementi necessari alle ulteriori ricerche.

A) Avendo già fissato la corda dell'asse delle centine (24^m 60), e la sua monta ($\frac{1}{10}$), si potrà facilmente trovare il raggio dell'asse medesimo colla nota relazione geometrica:

$$r = \frac{c^2 + m^2}{2m}$$

dove r è il raggio richiesto, $2c$ la corda ed m la monta dell'arco; sostituendo i numeri si trova:

$$r = 31^m, 98$$

Allora dicendo ϕ la metà dell'angolo sotteso dalla centina si avrà:

$$\text{sen } \phi = \frac{c}{r}$$

$$\cos \phi = \frac{r - m}{r}$$

cioè:

$$\text{sen } \phi = 0,38460$$

$$\cos \phi = 0,92308$$

a cui corrisponde

$$\phi = 22^\circ 37' 11''$$

Facile cosa sarà ora trovare la lunghezza di metà dell'asse della centina e dicendola S :

$$S = \pi r \frac{\phi}{180^\circ} = 12^m, 615$$

B) Conoscendo dal calcolo provvisorio il valore approssimato della superficie della sezione retta di una centina, potrò qui fissarne l'altezza senza tema di trovare per lo spessore una cosa esagerata; sia adunque d'un metro l'altezza ora detta. Allora nella fig. 9 $FD = 1^m$; e se conduco per D una verticale e per F una orizzontale avrò il triangolo rettangolo FID , nel quale l'angolo in

D si può ritenere eguale a ϕ per essere FD di pochissimo inclinato su LN . Sarà adunque:

$$FI = 1^m \times \sin \phi = 0^m, 38 \quad DI = 1^m \times \cos \phi = 0^m, 92$$

e quindi la larghezza delle pile al disopra dell'imposta degli archi sarà di $2^m - 2 FI = 1^m 24$; e la distanza fra i profili interni delle pile misurata alla medesima altezza sarà di

$$25^m, 40 - 1^m, 24 = 24^m, 16$$

5. — Numero e distanza dei ritti verticali.

Quando si trattasse di un ponte per vie ordinarie questi ritti si possono porre alla distanza da 4 a 5 m. (a); ma qui avendo un carico maggiore, giova per maggiore stabilità e per evitare nello stesso tempo dimensioni troppo forti nelle travi longitudinali porli più vicini. E per ogni centina ne porrò 12 coppie, che disteranno l'una dall'altra (fig. 1 e 2) di

$$\frac{HU}{13} = \frac{24,16}{13} = 1^m, 86$$

In grazia alla frequenza dei ritti si potrà considerare l'arco come caricato di pesi uniformemente distribuiti sulla sua corda, e poichè la saetta è solo $\frac{1}{10}$ della corda si potrà considerare come un arco equilibrato (b). In esso adunque saran trascurabili i momenti inflettenti, e per tutta la sua lunghezza si verificherà solo pressione e ciò con vantaggio della stabilità. Ma di ciò dirò più innanzi.

6. — Determinazione del tavolato di fondo.

Siccome collocherò una trave trasversale in corrispon-

(a) (b) CURIONI, *Op. cit.*

denza ai ritti ed un'altra frammezzo, così esse risulteranno distanti 0^m,93 da asse ad asse. Ciò posto, nel calcolo del tavolato si farà cosa in favore della stabilità se lo si considera come solido appoggiato alle estremità su due travi trasversali successive: e siccome il coefficiente di rottura per pressione è pei legnami minore del coefficiente di rottura per tensione, così l'equazione di stabilità sarà:

$$n'' R'' = \frac{v \mu_m}{I} \quad (a)$$

dove sono:

μ_m il massimo momento inflettente nel solido che si considera; I il momento d'inerzia della sezione retta rispetto all'orizzontale passante pel suo centro di gravità; v la massima distanza che si verifica nella sezione retta della orizzontale medesima ad un punto del perimetro; $n'' R''$ il prodotto del coefficiente di stabilità pel coefficiente di rottura. Pei legnami n'' si prenderà $\frac{1}{10}$; R'' si riterrà eguale a 4500 000 Kg per mq. essendo il larice rosso il legno adoperato in tutta questa costruzione: e però $n'' R''$, trattandosi di legname, sarà mai sempre uguale a 450 000.

Indicando con $2a$ la distanza 0^m93 degli appoggi; con p il peso in Kg. su ogni mq. di superficie del tavolato (che è di 1840 Kg.); e con b lo spessore incognito del tavolato, risulta:

$$v = \frac{1}{2} b \quad I = \frac{1}{12} b^3 \quad \mu_m = \frac{1}{2} p a^2$$

e sostituendo nella precedente equazione si trova:

$$n'' R'' = \frac{3 p a^2}{b^2}$$

donde

$$b = 0^m, 051$$

Aumento questa dimensione fino ad 8 cent. volendo applicare due tavolati: uno più robusto formato di tavoloni di 5 cent. di spessore posti nel senso della lunghezza del ponte; l'altro più leggero fatto di tavole dello spessore di soli 3 cent. e poste nel senso trasversale.

7. — **Determinazione del tavolato di sponda e dei puntelli che lo sostengono.**

Giova trovare dapprima la spinta che produce l'acqua sulla sponda tentando di rovesciarla: essa si può supporre applicata al terzo dell'altezza, cioè a 0^m 613 del fondo, e vale per ogni m. corrente:

$$R = \frac{1}{2} \pi h^2$$

essendo π il peso d'un mc. d'acqua, ed h l'altezza dell'acqua nel canale; e sostituendo i numeri si ha:

$$R = 1692$$

e per 0^m 93 di sponda risulterà una spinta

$$R' = 1573$$

A) Le tavole del tavolato si appoggiano contro i ritti r , fig. 1, 2 e 8, che incastrano a tenone e mortisa nelle travi trasversali. Dal punto O' del ritto in cui si può intendere applicata la spinta, parte un puntello a 45° che va ad incastrare nella trave trasversale in P' (fig. 8) e siccome $A'O' = OP = 0^m 613 + 0,08 = 0,693$ il puntello avrà una lunghezza di 0^m 982.

Ora la spinta R' si può scomporre in due: l'una F secondo la direzione del puntello, e questa produce pressione; l'altra G in direzione perpendicolare che tende a produrre flessione. Supponendo che il puntello debba da

solo sopportare la spinta dovrà per la stabilità essere soddisfatta l'equazione:

$$\pi'' R'' = \frac{v\mu}{I} + \frac{F}{\Omega}$$

Ω essendo l'area della sezione retta del puntello.

Se si chiama a il lato incognito di questa sezione si avrà:

$$\Omega = a^2 \quad v = \frac{1}{2} a \quad I = \frac{1}{12} a^4$$

poi

$$\mu = G \times \overline{OP} \quad \text{e} \quad G = F = R' 0,707 = 1212$$

sostituendo si trova $a = 0^m 25$: però tenendo calcolo che il ritto rr è incastrato sotto, e sopra è collegato coll'altra sponda con tirante in ferro, si scorge che il puntello può essere impicciolito di molto senza compromettere la stabilità, e quindi mi faccio lecito di ridurre la sua sezione retta ad un quadrato di 18 centimetri di lato e così avrà spessore eguale a quello della trave trasversale e del ritto rr , fig. 8.

B) Onde calcolare lo spessore del tavolato lo considero come solido appoggiato co' suoi estremi ai ritti verticali succitati distanti $0^m 93$; ora la pressione sulla sponda non è costante, ma va crescendo dalla superficie dell'acqua dove è uguale a zero, sino al fondo dove è $\pi h 0,93$ per ogni $0^m 93$ di sponda. Essendo il tavolato composto di più tavole fa d'uopo calcolare lo spessore della tavola inferiore che si trova in condizioni peggiori; e per stare dalla parte della stabilità suppongo che su tutta la sua superficie abbia luogo la massima pressione πh , cioè 1840 Kg., vale a dire la pressione che esiste sul tavolato di fondo: quindi lo spessore di quest'ultimo servirà anche per quello di sponda.

8. — **Determinazione delle travi trasversali.**

Le travi trasversali considero come solidi semplicemente appoggiati alle estremità sulle travi longitudinali, e caricati di un peso uniformemente distribuito su tutta la loro lunghezza. Per trovare questo peso osservo che le travi trasversali sopportano l'acqua del canale ed il tavolato; quella dà per mq. 1840 Kg.; questo di $0,08 \times 700 = 56$ Kg., essendo 700 Kg. il peso specifico del legno larice. In tutto adunque su ogni mq. si hanno 1896 Kg.; e siccome le travi trasversali distano di 0^m93, così il peso che debbono sopportare per ogni m. di lunghezza è:

$$1896 \times 0,93 = 1763 = p'$$

Per la stabilità dovrà verificarsi l'equazione:

$$n'' R'' = \frac{\nu \mu m}{I}$$

dove le lettere hanno significato uguale a quelle della formola (α). E dicendo $2a'$ la distanza degli appoggi ossia delle travi longitudinali l'una dall'altra; b' e c' le dimensioni verticali ed orizzontali della sezione retta delle travi trasversali, si avrà:

$$v = \frac{1}{2} b' \quad I = \frac{1}{12} c' b'^3 \quad \mu_m = \frac{1}{2} p' a'^2$$

e sostituendo nella precedente :

$$n'' R'' = \frac{3p'a'^2}{c'b'^2}$$

nella quale farò: $a' = 0^m,875$ (poichè $2a' = 1,75$); $n'' R'' = 450\,000$; $p' = 1763$ e $b' = \frac{5}{4} c'$; e si trova:

$$c' = 0^m,179$$

cioè :

$$c' = 0^m, 18$$

$$b' = 0^m, 22$$

9. — Determinazione delle travi longitudinali.

Qui non è più il caso di considerare la trave come caricata di un peso uniformemente distribuito sulla sua lunghezza; ma bensì come solido appoggiato alle estremità e caricato di un sol peso P nel suo mezzo; poichè la trave longitudinale nella parte compresa fra due coppie successive di ritti porta una sola trave trasversale a metà, due altre essendo collocate su' suoi estremi in corrispondenza dei ritti stessi. L'equazione di stabilità è la medesima delle travi trasversali, e designando colle stesse lettere a' , b' , c' le quantità analoghe a quelle che significavano nel numero precedente si avrà:

$$v = \frac{1}{2} b' \quad I = \frac{1}{12} c' b'^3 \quad \mu_m = \frac{1}{2} P a'$$

e sostituiti questi valori nell'equazione di stabilità, e fatto ancora $b' = \frac{5}{4} c'$ essa diviene:

$$n'' R'' = \frac{48 P a'}{25 c'^3}$$

$2a'$ è la distanza fra due coppie successive di ritti, eguale a $1^m, 86$, quindi $a' = 0^m, 93$; e P è uguale al peso che insiste sopra una trave trasversale più il peso della trave stessa cioè:

$$P = 1763 \times 1,75 + 0,18 \times 0,22 \times 700 \times 1,75 = 3123 \text{ Kg.}$$

e sostituendo nella precedente si ottiene:

$$c' = 0^m, 23$$

quindi

$$b' = 0^m, 28$$

10. — **Determinazione dei ritti.**

Ciascuna coppia di ritti deve sopportare tutto il peso che insiste su 1^m,86 di trave longitudinale: ora, tenuto calcolo dell'acqua, del tavolato, delle travi trasversali e di quelle longitudinali, si trova per detto peso 6352 Kg. Ed ogni ritto ne sopporterà quindi la metà:

$$P = 3176.$$

Affinchè siavi stabilità basta sia soddisfatta la seguente equazione:

$$\Omega = \frac{P}{n'' R''}$$

dove Ω è l'area della sezione retta del ritto: e dicendo c' e b' i lati, avrassi:

$$\Omega = c'b'$$

e ponendo $b' = \frac{5}{4} c'$, sostituendo nell'equazione di stabilità, e ricavando c' :

$$c' = 0,075$$

Ma dei ritti ve ne sono alcuni lunghi, nella loro parte libera, 2^m,30, e però bisogna introdurre nell'equazione di stabilità il coefficiente di riduzione, che secondo il quadro dato da Rondelet risulta di 2,4, essendo qui 30,66 il rapporto dell'altezza alla minima dimensione trasversale. Si ottiene così:

$$c' = 0^m, 135$$

$$b' = 0^m, 17$$

Confrontando però questi miei risultati colle dimensioni tenute nei ponti simili già esistenti, trovo che anche con minor peso da sopportare fu assegnato ai ritti proporzioni maggiori: questo potrebbe essere motivato

dall'aver tenuto conto della possibilità che certi ritti uscissero d'alquanto dalla verticale, sebbene alcuno potrebbe far osservare, e con ragione, che la verticalità è pressochè assicurata dai pezzi di collegamento. Comunque sia, siccome i ritti oltre al trasmettere il peso all'arco deggiono ancora abbracciarlo, là risulterebbero di troppo esigue dimensioni, come lo fa capire benissimo la fig. 3, però che io volentieri aumento d'alcun poco le dimensioni trovate, e ritengo:

$$c' = 0^m, 16$$

$$b' = 0^m, 20$$

11. Pezzi di collegamento.

Ai pezzi di collegamento $CC, C'C, W, ii'$ assegno la medesima sezione retta dei ritti verticali, cioè 0^m16 per 0^m20 . — Non si usa dare a quelli dimensioni minori di questi.

12. Determinazione della sezione retta delle centine.

Ho di già accennato che la centina si può considerare come arco equilibrato, caricato di peso uniformemente distribuito sulla sua corda. Il peso che gravita su mezza centina, sopportando essa sei coppie di ritti, sarà

$$6 \times 6352 = 38112 \text{ Kg.}$$

e ciò per quanto si riferisce all'acqua, al tavolato, alle travi trasversali ed a quelle longitudinali. — Rimane da aggiugnere il peso dovuto ai ritti, ai pezzi di collegamento, alle chiavarde, alle fasciature ed ai tiranti. Ora si ha che

16 ^m 50 di ritti producono un peso di Kg.	369
42 ^m di pezzi di collegamento $CC, C'C$.	940
26 ^m 90 » » W, W' .	602
24 ^m 66 » » ii, ii' .	552
in tutto	Kg. 2463

che uniti ai 38112 Kg. precedenti danno

Kg. 40575

e per tener conto delle chiavarde, delle staffe, e dei tiranti aumento questo peso sino a

Kg. 41000

Volendo trovare la sezione retta della centina fa d'uopo avere prima il peso per metro corrente sulla proiezione dell'asse dell'arco.

So che per un arco equilibrato si verifica sempre pressione, e che essa è massima all'imposta, dove prende il valore

$$T = \frac{pc^2}{2m} \sqrt{1 + \frac{4m^2}{c^2}}$$

essendo

p il peso per l'unità di lunghezza della corda,

$2c$ la corda stessa,

m la monta.

Ora farò cosa in favore della stabilità assumendo per area costante della sezione retta della centina quella che si trova per sezione retta d'imposta; e dicendo Ω quest'ultima si dovrà avere la relazione:

$$n'' R'' \Omega = \frac{pc^2}{2m} A \quad (\beta)$$

avendo fatto per brevità di scrittura

$$\sqrt{1 + \frac{4m^2}{c^2}} = A$$

Ma pc non è altro che il peso totale U che sopporta mezza centina, più ancora il peso proprio; quindi dicendo:

U il peso del legname,

S la lunghezza della metà dell'arco misurata sull'asse, dovrà essere:

$$pc = HS\Omega + U$$

e sostituendo nella (β)

$$n'' R'' \Omega = \frac{(HS\Omega + U)c}{2m} A$$

da cui

$$\Omega = \frac{UcA}{2m n'' R'' - HS c A}$$

e ponendo per U , c , m , S , $n'' R''$, H i loro valori numerici si ottiene

$$\Omega = 0^m 9, 26$$

e siccome abbiamo già assegnato alla centina nel senso del raggio un'altezza di 1^m ne risulta uno spessore di

$$0^m, 26$$

come si vede segnato nella fig. 3.

13. Calcolo delle dimensioni della spalla.

Fa d'uopo per questa determinazione avere le componenti orizzontale (Q') e verticale (V') della spinta che l'arco esercita contro l'imposta sua: ora questa spinta abbiamo visto essere

$$T = \frac{pc^2}{2m} \sqrt{1 + \frac{4m^2}{c^2}}$$

quindi

$$Q' = \frac{pc^2}{2m} \sqrt{1 + \frac{4m^2}{c^2}} (\cos T G Q = \cos \phi)$$

$$V' = \frac{pc^2}{2m} \sqrt{1 + \frac{4m^2}{c^2}} (\sin \phi)$$

sostituendo quindi i numeri

$$T = 119275 \text{ Kg.}$$

$$Q' = 110101 \text{ Kg.}$$

$$V' = 43875 \text{ Kg.}$$

È da notarsi che queste forze si esercitano sopra una lunghezza di spalla eguale a $1^m 75$, e per la lunghezza di un metro sarà:

$$Q = \frac{Q'}{1,75} = 62913 \text{ Kg.}$$

$$V = \frac{V'}{1,75} = 26214 \text{ Kg.}$$

Ora la spinta orizzontale Q potrebbe produrre la rottura della spalla in due modi:

1° Per *scorrimento* facendo strisciare la parte superiore al piano raffigurato in CD (fig. 11) sulla parte inferiore al piano medesimo. 2° Per *rovesciamento* facendo girare la parte superiore intorno allo spigolo proiettato in C . Giova trovare in ambi i casi lo spessore da assegnare alla spalla acciocchè siavi stabilità, ed assumere il maggiore dei due.

A) Affinchè la spalla presenti la necessaria resistenza onde impedire lo scorrimento fa d'uopo sia verificata l'equazione:

$$Q = n^v f (P + P' + V) \quad (v)$$

dove sono:

f coefficiente d'attrito di muratura su muratura = 0,57,

n^v coefficiente di stabilità relativo allo scorrimento e compreso fra $\frac{2}{3}$ e $\frac{4}{3}$: lo ritengo eguale a $\frac{3}{2}$.

P peso della muratura,

P' peso del sovraccarico,

Q e V le note componenti della spinta dell'arco per metro corrente.

Il P si compone:

1° Del peso della muratura da IK in su cioè fin sotto

le travi trasversali: quest'altezza, quando siasi fissata a $0^m,32$ la distanza che passa fra la sommità dell'arco e le travi longitudinali, risulta da facile computo eguale a $3^m,10$; e siccome IK è lo spessore incognito della spalla che diremo x , si avrà pel peso suddetto:

$$x \times 3,10 \times 2200$$

essendo 2200 il peso di un m. c. di muratura.

2° Del peso della parte $KXYF$ che è in pietra da taglio ed a cui assegniamo a KX il valore $1^m,20$ allora $TF = 1,20 + 0,38 = 1^m,58$ (N° 4 II^a Parte) ed il peso in questione sarà:

$$\frac{1,20 + 1,58}{2} (XY = 0,92) 2600$$

essendo 2600 Kg. il peso di un mc. della pietra.

3° Del peso della parte $FNZY$ pure in pietra da taglio (poichè questa si protende a $0^m,60$ sotto YF e qui FN è solo $0^m,16$) che vale:

$$1,58 \times 0,16 \times 2600$$

4° Del peso della parte $IXZC$ in muratura

$$(x - 1,20) (0,92 + 0,16) 2200$$

Eseguendo le operazioni indicate e sommando

$$P = 9196 x + 5833$$

Passando al calcolo di P' , esso consta del peso dell'acqua e del tavolato che gravitano direttamente sulla pila, più la metà di quello sopportato da una campata di travi longitudinali poichè quest'ultime sono incastrate nella spalla, quindi:

$$P' = (x \times 0,93) 1896$$

Ora sostituendo nella (γ) si ottiene:

$$x = 1^m, 42$$

spessore cercato.

B/ Perchè la spalla resista poi stabilmente al rovesciamento è necessario che il momento della spinta orizzontale Q per rispetto alla retta proiettata in C sia eguale alla somma dei momenti della V e dei singoli pesi fatti di sopra rispetto alla medesima retta, moltiplicata per il coefficiente di stabilità che qui vale $\frac{3}{5}$. Eseguendo questi momenti si ricava dall'equazione ora posta

$$x = 1^m, 56$$

Dunque farebbe d'uopo assumere per spessore della spalla quest'ultimo, senonchè calcolando qual debba essere lo spessore della spalla medesima alla sua base, acciò resista ancora al rovesciamento, si ottiene una dimensione di alcuni metri superiore a quella dianzi determinata; e però ne risulterebbe una spalla di forme inusitate nella pratica.

C/ Per questo motivo, determino un nuovo spessore fissandomi a priori il profilo verso terra: sianvi per esempio due riseghe ciascuna di $0^m, 30$ di spessore e di 3^m di altezza. A voler procedere con esattezza gioverà tenere anche conto della spinta della terra: calcoliamone quindi il valore.

Nel caso generale dicendo:

ψ l'angolo che fa coll'orizzonte il piano di distacco per ora incognito,

π' il peso di un mc. di terra,

π'' il peso del sovraccarico per ogni m. q.,

a l'altezza del muro di sostegno,

R la risultante delle due forze verticali esprimenti l'una il peso della terra, l'altra del sovraccarico, si ha (fig. 12):

$$R = \frac{1}{2} a^2 \cot \psi \pi' + \pi'' a \cot \psi$$

$$R = A \cot \psi$$

avendo fatto per brevità $\frac{1}{2} a^2 \pi' + a \pi'' = A$

a) *Determinazione del prisma di massima spinta.*

La linea $\overline{BK}$ fig. 12, stando a rappresentare il piano di distacco, l'angolo ψ sarebbe raffigurato in KBN . Dal punto M d'applicazione della forza R conduco due normali, l'una MV al piano di distacco, l'altra MU alla verticale CB limitante la spalla verso terra: al disotto di queste rette conduco rispettivamente le altre due MP ed MQ_t ; la prima facente con MV l'angolo d'attrito di terra contro terra che si assume di 45° , la seconda facente con MU l'angolo d'attrito di terra con muratura che si ritiene uguale a 30° . Se scomponiamo la R in due componenti dirette secondo MQ_t ed MP secondo la teoria della spinta delle terre quella che produce spinta è la sola Q_t . Ora Q_t è funzione di ψ , e però gioverà trovare qual'è il valore di quest'ultima che rende massimo Q_t . Dal triangolo MQ_tR si ha:

$$Q_t : R :: \sin(\psi - 45^\circ) : \sin(\psi + 15^\circ)$$

da cui

$$Q_t = R \frac{\sin \psi \sin 45^\circ - \cot \psi \cos 45^\circ}{\sin \psi \sin 15^\circ + \cot \psi \cos 15^\circ}$$

ossia

$$Q_t = R \frac{1 - \cot \psi}{\sqrt{2} (\sin 15^\circ + \cot \psi \cos 15^\circ)}$$

e sostituendo per R il valore su trovato

$$Q_t = \frac{(1 - \cot \psi) A \cot \psi}{\sqrt{2} (\sin 15^\circ + \cot \psi \cos 15^\circ)}$$

Il valore di ψ che rende massimo Q_t sarà quello che rende uguale a zero la derivata di Q_t fatta rispetto a ψ : cioè soddisfare l'equazione

$$\frac{dQ_t}{d\psi} = 0$$

Nel far la differenziazione possiamo tralasciare il fattore costante $\frac{A}{\sqrt{2}}$: si ottiene semplificando un'equazione di 2° grado in $\cot \psi$

$$\cot^2 \psi + 2 \tan 15^\circ \cot \psi = \tan 15^\circ$$

donde

$$\cot \psi = 0,3149$$

a cui corrisponde

$$\psi = 72^\circ 30'$$

Sostituendo questo valore nell'espressione di Q_t si otterrà:

$$Q_t = 0,2714 A$$

L'altezza $\overline{CB}$ della spalla è di 9^m, poichè si è innalzato il basamento di calcestruzzo d'un metro sul fondo del torrente, quindi $a = 9$; il peso di un m. c. di terra, supposta di natura sabbiosa, sarà $\pi = 1700$; il peso sovraccarico per ogni mg. $\pi'' = 1840$ laonde

$$A = \frac{1}{2} \times 9^2 \times 1700 + 9 \times 1840 = 68850$$

e perciò

$$Q_t = 23180 \text{ Kg.}$$

e le componenti orizzontale e verticale di questa, saranno rispettivamente

$$O = Q_t \cos 30^\circ = 20070 \text{ Kg.}$$

$$V_t = Q_t \sin 30^\circ = 11590 \text{ Kg.}$$

b) Sia adunque $B\sigma\lambda\epsilon\delta\beta$ (fig. 12), il profilo della spalla verso terra. Sappiamo essere: $\overline{\delta\epsilon} = \overline{\lambda\sigma} = 0^m30$; $\overline{\beta\delta} = \overline{\epsilon\lambda} = \overline{\sigma\beta} = 3^m$; $\overline{CB} = 9^m$; la verticale $\overline{JH}$ fissata ad $1^m,20$ da ED ; $\overline{FG} = \overline{AH} = 1^m,58$; $\overline{JL} = 3^m,10$; $\overline{LG} = 0^m,92$; $\overline{UG}$.

$= 0^m,60$; $\overline{GH} = 4,08$. — Si chiami y lo spessore incognito $\alpha\beta$.

Il rovesciamento tende a venire intorno alla retta proiettata in B : vi si oppongono

il peso P_1 del marmo <i>DELJ</i> in muratura (8181)	col braccio $p_1 = 1,20 + y$
» P_2 » <i>ELFG</i> in pietra da taglio (3328)	» $p_2 = 1,31 + y$
» P_3 » <i>FGG¹F¹</i> » (2164)	» $p_3 = 1,39 + y$
» P_4 » <i>F¹G¹NA</i> in muratura (14182)	» $p_4 = 1,39 + y$
» P_5 » $\alpha\beta\theta H$ » ($y \times 9 \times 2200$)	» $p_5 = \frac{1}{2} y + 0,60$
» P_6 » $\theta\varrho\epsilon\delta$ » (3960)	» $p_6 = 0,45$
» P_7 » $\delta\epsilon\gamma\beta$ in terra (1530)	» $p_7 = 0,45$
» P_8 » $\varrho B\sigma\lambda$ in muratura (1980)	» $p_8 = 0,15$
» P_9 » $\sigma\lambda\gamma C$ in terra (3060)	» $p_9 = 0,15$
la componente orizz. O (20670) della spinta Q_t	» $o = 5,46$
la componente vert. V (45875) » T	» $v = 1,58 + y$
il peso A dell'acqua che gravita su μDJ , αC ($1840 \times (2,73 + y)$)	$a = \frac{1}{2}(2,73 + y)$

È favorevole invece al rovesciamento

la componente orizz. Q (62913^k) della spinta T col braccio $q = 4,98$

Quindi perchè siavi stabilità bisogna sia soddisfatta l'equazione

$$Qq = n''(P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3 + P_4p_4 + P_5p_5 + P_6p_6 + P_7p_7 + P_8p_8 + P_9p_9 + Oo + Vv + Aa)$$

Non si è tenuto conto della componente verticale V_t della spinta della terra, perchè essa essendo applicata sulla faccia CB ha per rispetto a B momento nullo.

Sostituendo i numeri si ottiene

$$313307 = n''(229416 + 90935 y + 10820 y^2)$$

deve n'' è il coefficiente di stabilità per rovesciamento

che si assume eguale a $\frac{8}{3}$ e ponendo questo valore nella precedente, si ricava:

$$y = 2^m,50$$

quindi lo spessore della spalla alla sua sommità è di

$$2^m,50 + 1^m,20 = 3^m,70$$

ed alla base di

$$3^m,70 + 0^m,38 + 0^m,60 = 4^m,68$$

D) Verificazione della stabilità sotto il rapporto allo schiacciamento.

Fa d' uopo trovare il centro di pressione sulla base *AB* della spalla (fig. 12); dicendo *d* la sua distanza *τB* dallo spigolo *B*, si avrà evidentemente:

$$Qq - P_1p_1 - P_2p_2 - P_3p_3 - P_4p_4 - P_5p_5 - P_6p_6 - P_7p_7 - P_8p_8 - P_9p_9 - Oo \\ - Vv - Aa + (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + O + V + A + V_i) d = 0$$

dove a ragione nel coefficiente di *d* si vede apparire anche la componente verticale *V_i* della spinta delle terre.

Sostituendo nella precedente i numeri si ottiene:

$$d = 1,35$$

quindi

$$d < \frac{1}{3} \overline{AB}$$

Tuttavia (*) si può ritenere la spalla stabile: invero la massima pressione *K* riferita all'unità di superficie è in questo caso:

$$K = \frac{2}{3} \frac{N}{d}$$

essendo

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + O + V + A + V_i$$

(*) CUNIONI. *Arte del fabbricare*. — Costruzioni civili, stradali ed idrauliche.

e ponendo invece dei simboli il loro valore

$$K = 77638 \text{ Kg}$$

Ora adoperando mattoni ben cotti e buonissimo cemento il coefficiente di rottura è 1000000 Kg per mq. e dall'equazione di stabilità

$$K = n'' R''$$

si ottiene

$$n'' = \frac{1}{12,8}$$

14. Muro di sponda del canale.

L'acqua nel canale essendo alta $1^m,84$ ed avendo assegnato $0^m,21$ di franco, il muro risulterà alto, $2^m,05$. La spinta R dall'acqua esercitata contro di esso vale (n° 6°, IIª parte) 1692 Kg per metro di sponda, ed ha rispetto alla base un braccio di $0^m,613$.

Affinchè il muro presenti sotto il rapporto della resistenza al rovesciamento la voluta stabilità, fa d'uopo sia

$$R \times 0,613 = n'' P \times \frac{1}{2} x$$

dove $n'' = \frac{3}{5}$, e P è il peso di un metro di muro:

$$P = x 2,05 \times 2200$$

Sostituendo, ricavasi

$$x = 0^m 76$$

Ma il muro deve anche presentare stabilità contro lo scorrimento, e però deve essere

$$R = n''^v f P$$

nella quale $n''^v = \frac{3}{5}$, ed f possiamo assumere uguale a

0,76, poichè l'acqua nel canale non sarà immessa se non quando la muratura avrà fatto buona presa; ponendo i numeri a luogo dei simboli, ottiensì:

$$x = 0^m,82$$

Quest'ultimo sarà lo spessore da adottarsi. —

15. Calcolo delle dimensioni dei muri di risvolto.

A/ Segnato lo spessore della spalla (fig. 1), segnata l'inclinazione $\sigma \varphi$ della riva del torrente, e fissata la lunghezza complessiva dei muri di risvolto $\beta \alpha = 4,20$, divido quest'ultima in due parti uguali $\beta \gamma$ e $\gamma \alpha$; conduco pel punto γ una verticale che indicherà il limite dei due muri di risvolto: il 1° $\alpha \gamma \lambda \psi$, ed il 2° $\gamma \beta \delta \epsilon$, avendo preso i due punti ϵ e ψ un po' al disotto di $\sigma \varphi$.

I disegni schematici delle sezioni trasversali di questi muri si vedono rispettivamente nelle fig. 13 e 14. — L'angolo ψ corrispondente al prisma di massima spinta è ancorà lo stesso che nel caso della spalla, purchè si assumano sempre i medesimi angoli di attrito: e però sarà ancora

$$Q = 0,2714 A$$

Siano N ed I i rispettivi punti d'applicazione delle spinte delle terre contro il 1° ed il 2° muro (fig. 13 e 14); con facile computo si ottiene:

$$NB = 5^m,44 \text{ (fig. 13)}$$

$$IB = 2,84 \text{ (fig. 14)}$$

Pel 1° muro dico $P' P'' P'''$ e $P'_t P''_t P'''_t$ i prismi di muratura e di terra aventi per lunghezza 1^m , e rispettivamente per sezione $HAIG$, $FEKI$, $DCKB$ ed $FELG$,

DCML; e similmente dico P' P'' e P'_i le quantità analoghe pel 2° muro.

Siccome porterò lo spessore del 1° muro dalla verticale della sponda del canale in fuori, così sullo stesso muro graverà la sponda medesima; ed ancora, a motivo delle riseghe, l'acqua per una lista di 0^m,60 di larghezza.

Per essere ad un tempo chiaro e conciso racchiudo i calcoli riferentisi ai due muri di sostegno nel seguente quadro:

(1) N° d'ordine dei muri	(2) Altezza a dei muri	(3) N° e altezza delle riseghe di 0,30 di spessore	(4) Valori di $\Delta = \frac{1}{2} a^2 \pi' \times a \pi''$	(5) Valori di $Q = 0,2714 A$	(6) Componenti orizzontali $O = Q \cos 30^\circ$
I.	8 ^m 10	2 2 ^m 70	70672	19180	16610
II.	4	1 2 ^m	20960	5688	4925

(7) Bracci o	(8) Momenti $O o$	(9) Componenti verticali $V = Q \sin 30^\circ$	(10) Bracci v	(11) Momenti $V v$
5,44	90358	9590	$X' + 0,60$	$9590 X' + 5754$
2,84	13987	2844	$X'' + 0,30$	$2844 X'' + 853$

(12) Valori di P'	(12) Bracci p'	(14) Momenti $P' p'$	(13) Valori di $P'' + P'_i$	(16) Bracci p''
$X' \times 8,10 \times 2200$	$\frac{1}{2} X' + 0,60$	$X'^2 8910 + X' 10692$	$\frac{0,30 \times 5,40 \times 2200}{+ 0,30 \times 2,70 \times 1700}$	$x' + 0,45$
$X'' \times 4^m \times 2200$	$\frac{1}{2} X'' + 0,30$	$X''^2 4400 + X'' 4610$	$\frac{0,30 \times 2 \times 2200}{+ 0,30 \times 2 \times 1700}$	$x'' + 0,15$

(17) Momenti ($P'' + P''_d$) p''	(18) Valori di $P''' + P'''_d$	(19) Bracci p'''	(20) Momenti ($P''' + P'''_d$) p'''	(21) Peso M del muro di sponda.
$x' 4941 + 9223$ $x'' 2340 + 351$	$\begin{matrix} 0,30 \times 2,70 \\ \times 2200 + 0,30 \\ \times 3,40 \times 1700 \end{matrix}$	$x' + 0,15$	$x' 4536 + 680$	6898

(22) Bracci m	(23) Momenti $M m$	(24) Peso A dell' acqua su $G M$	(25) Bracci a	(26) Momenti $A a$
$x' - 0,41$	$x' 6869$	$0,60 \times 1840$	$x' + 0,30$	$x' 1104 + 331$

La sola componente orizzontale della spinta delle terre tende a produrre il rovesciamento: le altre forze registrate alle colonne (9), (12), (15), (18) e (21) vi si oppongono. Si avranno adunque le equazioni di stabilità pei due muri, eguagliando i momenti che si trovano nella colonna (8) alla somma di quelli che sono designati nelle altre (11), (14), (17), (20) e (23), moltiplicata per il coefficiente di stabilità n'' , che qui assumo eguale a 0,50, si ottengono le equazioni:

$$\text{Pel 1° muro} \quad . \quad . \quad . \quad x'^2 + 4,02 x' = 19,60$$

$$\text{Pel 2° muro} \quad . \quad . \quad . \quad x''^2 + 1,22 x'' = 6,08$$

da cui

$$x' = 2^m,83$$

$$x'' = 1^m,57$$

quindi le grossezze rispettive alla base sono:

$$g' = 3,43$$

$$g'' = 1,87$$

Pel 2° muro ho supposto ancora il sovraccarico su tutta la superficie superiore del prisma di spinta, mentre in realtà su una parte vi è acqua, sopra una seconda parte vi è il muro di sponda e sopra una terza non vi è sovraccarico di sorta; la maggior estensione data al sovraccarico-acqua, tien luogo del maggior peso che ha il muro di sponda rispetto all'acqua stessa.

B. Verificazione della stabilità sotto il rapporto della resistenza allo schiacciamento.

Siano (fig. 13 e 14) X ed Y i centri di pressione; dico d' e d'' le loro rispettive distanze dagli spigoli progettati in A nelle due figure. Ritenendo le denominazioni poste più sopra si avrà:

pel 1° muro:

$$00 - Vv - P'p' - (P'' + P''_i)p'' - (P''' + P'''_i)p''' - Mm - Aa \\ + (V + P' + P'' + P''_i + P''' + P'''_i + M + A)d' = 0$$

pel 2° muro:

$$00 - Vv - P'p' - (P'' + P''_i)p'' + (V + P' + P'' + P''_i)d'' = 0$$

donde si ricava rispettivamente

$$\text{pel 1° muro:..... } d' = \frac{95707}{87493} = 1,09$$

$$\text{pel 2° muro:..... } d'' = \frac{13464}{18900} = 0,71$$

ora siccome d' è di soli 5 c.m. minore di $\frac{1}{3} g'$, e $d'' > \frac{1}{3} g''$, scorgesi esservi la voluta stabilità.

NB. Calcolando lo spessore conveniente ai muri di sostegno perchè resistano allo scorrimento ho trovato

$$x' = 1^m,75$$

$$x'' = 1^m,37$$

Si è adottato $n'' = 0,50$ ed $f = 0,57$

16. Verificazione della stabilità delle pile per rapporto allo schiacciamento.

Sulla base della pila gravitano:

1. Acqua e tavolato di fondo . . . per Kg.	597100
2. Tavolati di fianco » »	5831
3. Ritti rr. » »	3337
4. Puntelli » »	1200
5. Filagne F,F' » »	1407
6. Travi trasversali » »	9895
7. Travi longitudinali » »	9016
8. Ritti RR. » »	5913
9. Pezzi di collegamento CC e C'C' » »	13440
10. » » II, I'I' » »	9664
11. » » ii, ii' » »	7733
12. Tiranti in ferro » »	1755
13. Pila	

La parte in muratura su EF (fig. 9). Kg.	118600	} 521610
» in pietra da taglio CDEF »	54250	
» » » C'D'DC »	51760	
» in muratura sotto C'D' »	297000	
In tutto	Kg. 1187901	

Ora l'area della base della pila, trascurando l'area corrispondente ai rostri, ma tenendo conto dell'aumento di 0^m, 80 dati per parte e parte, risulta di

$$2 \times 14 = 28^m$$

e ponendo nell'equazione di stabilità

$$n'' R'' = \frac{T}{\Omega}$$

$$R'' = 5000000, T = 1187901, \Omega = 28$$

ottiensi:

$$n'' = \frac{1}{11,3}$$

dunque la pila è stabile.

17. — **Fondazioni.**

I pali dovendo avere la lunghezza di 6^m, avranno per diametro

$$D = \frac{6^m}{24} = 0^m,25$$

Quindi ognuno sarà capace di sorreggere stabilmente

$$p = n'' R'' \frac{\pi D^2}{4}$$

e facendo pel larice $n'' R'' = 50\,000$

$$p = 24\,500^{Kg}$$

A/ La pila esercita sulla sua base una pressione di

$$Kg. 1187901$$

Per fare le opere di fondazione del mio ponte-canale, si procede così: si scava per 1^m,50 sotto il fondo del torrente, si piantano i pali di fondazione; e poi costruiti i casseri fino all'altezza di 1^m sul fondo stesso, si riempiono di calcestruzzo. Siccome i pali vi penetrano colla testa per 0^m,90, rimarrà loro di sopra uno strato di 1^m,60 di calcestruzzo esercitante in totale un peso di

$$Kg. 205920$$

che insieme colla pressione esercitata dalla pila fa

$$Kg. 1393821$$

Laonde occorreranno pali in numero di

$$\frac{1393821}{24500} = 56$$

Siccome si darà al calcestruzzo 0^m,50 di sporgenza sulla muratura, la superficie su cui si possono distribuire i pali sarà

$$3^m \times 15^m = 45^m^2$$

Ad ogni palo corrisponderà un quadrato di superficie

$$s = \frac{45}{50} = 0^m 9,90$$

e di lato

$$0^m,94$$

Nel mio caso potrò adottare 3 file di pali di 18 pali ciascuna, e porrò ancora 4 pali sotto ciascun rostro disposti come mostra la fig. 16.

B/ La spalla sulla sua base trasmette una pressione che è la risultante del peso di mezza arcata (333145) del peso proprio (1587384), del peso dell'acqua esistente sopra (119325) e della componente verticale della spinta delle terre (143716); sommate queste quattro forze risulta per pressione totale

$$Kg. 2183570$$

Il calcestruzzo eserciterà poi la pressione di

$$Kg. 423800$$

che sommata colla precedente dà una pressione totale di

$$Kg. 2607370$$

Occorreranno adunque pali in n°

$$\frac{2607370}{24500} = 104$$

La superficie su cui si possono distribuire i pali sarà

$$5,68 \times 18,06 = 102^m$$

Ad ogni palo corrisponderà un quadrato di superficie

$$\frac{102}{104} = 0^m 9,98$$

e di lato

$$0^m,99$$

Nel caso mio si potrà adottare 5 file di pali di 24 pali ciascuna, e saranno disposti come nella fig. 15.

C) Per i muri di risvolto si può adottare i pali di fondazione alle medesime distanze di quelli della spalla senza timore di peccare in meno, poichè la pressione unitaria in quelli sarà di sicuro più piccola che in questa.

Dalla fig. 15 apparisce come furono distribuiti i pali sotto i muri di risvolto.

COSTO DELL'OPERA.

N° d'ordine	DESIGNAZIONE DELLE OPERE	Natura della misura	QUANTITÀ	PREZZO UNITARIO	IMPORTO
1	Sterri eseguiti pel collocamento delle spalle, dei muri di risvolto e delle loro fondazioni	mc.	1350,000	0,50	675,00
2	Sterri eseguiti per le fondazioni delle pile	"	288,000	0,50	144,00
3	Assi-pali di larice rosso per 247 ^m di paratie, alti 2 ^m , 90 e di spessore 0 ^m , 10	"	71,630	110,00	7879,30
4	Pali 205 di larice rosso, per l'ossatura delle paratie, di diametro 0 ^m , 30 e di altezza 4 ^m	"	57,933	100,00	5793,30
5	Filegne e controfilegne, per 308 ^m di paratie, aventi una sezione di 0,25 per 0,30	"	46,200	100,00	4620,00
6	Chiavardie 257 per le unioni nei casseri	Kg.	411,200	0,90	397,10
7	Pali 512 di larice rosso, per le fondazioni, di diametro 0 ^m , 25 e 6 ^m di lunghezza	mc.	150,528	100,00	15052,80
8	Puntazze e viere per l'armamento dei pali di fondazione	Kg.	3328,000	0,90	2995,20
9	Gettate di grosse pietre per la tutela delle sponde e dei casseri	tonn.	1218,000	5,75	7378,00
10	Incamicciatura delle sponde fin sopra il livello delle acque massime per 10 metri a monte e 10 a valle del ponte, fatta con grossi scapoli di 0 ^m , 50 di coda	mc.	110,000	12,00	1320,00
11	Calcestruzzo per fondazioni in ragione di 495 mc. per le pile e 650 per le spalle ed i muri di risvolto, in tutto	"	1145,000	22,00	25190,00
12	Muratura di pietrame sotto i muri di risvolto	"	182,720	12,00	2192,65
13	Murature in laterizi per le pile	"	2226,000	23,00	51198,00
14	" " per le spalle	"			
15	" " per i muri di risvolto	"			
16	" " per le pile	"	225,000	120,00	27000,00
17	" " per le spalle	"			
18	Pietra da taglio per coperture dei muri di risvolto e del muro di sponda del canale	"	37,830	110,00	4161,30
19	Muro di sponda in laterizi per la parte rettilinea	"	57,600	23,00	1324,80
20	" " per la parte di raccordo	"	192,000	23,00	4417,00
21	Platea di calcestruzzo grasso con maglia idraulica pel tratto di raccordo a monte ed a valle del ponte	"	196,400	23,00	4517,90

E qui finisce il mio compito. Nessuno vorrà certamente pensare che io abbia avuto in animo di dare un progetto *completo in ogni sua parte*, chè a ciò fare ben so occorrere maggior lasso di tempo e maggior familiarità colle pratiche discipline di quello che io non abbia: volli solo dare un saggio di unò fra i più importanti insegnamenti che vengono professati in codesta Scuola d' Applicazione.

SILVIO AVONDO.

27.3.88

GE - CAN

273.838